



TITLE:

Behavior of Gas Hydrate-Bearing Soils during Dissociation and its Simulation(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Iwai, Hiromasa

CITATION:

Iwai, Hiromasa. Behavior of Gas Hydrate-Bearing Soils during Dissociation and its Simulation. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18933>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	岩井 裕正
論文題目	Behavior of Gas Hydrate-Bearing Soils during Dissociation and its Simulation (ガスハイドレート含有地盤の分解時における挙動及びその解析)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、現在国内外において資源開発が進められているメタンハイドレートについて、開発時の地盤の力学的安定性を評価するための基礎的な資料となり得る力学試験および解析的検討を行ったものであり、序論、結論を含め6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景となるメタンハイドレート資源開発の現状と、地盤工学的視点に基づく懸念事項について述べるとともに、従来の研究成果について整理している。また、本研究の目的および各章の概要を示している。</p> <p>第2章では、不安定解析と有限要素解析で用いる化学-熱-力学連成解析手法の支配方程式、およびハイドレート含有地盤の弾粘塑性構成式について述べている。弾粘塑性構成式では、ハイドレート含有地盤の特徴である時間依存性およびハイドレートによる硬化を考慮している。</p> <p>第3章では、砂試料を用いて炭酸ガスハイドレート含有試料の分解試験を実施した結果を示している。試験装置は、従来軟岩等に用いる高圧三軸試験装置に温度制御および体積変化測定用の二重セル構造を導入して開発したものであり、セルを循環させる流体の温度を-35℃から50℃に制御することにより、低温高圧下でのハイドレート生成および分解を可能とした。土試料として豊浦砂を用い、直径35mm、高さ70mmの円柱供試体内に炭酸ガスハイドレートを生成させた後、非排気-非排水状態で加熱し分解させ、間隙圧力変化や軸変位を計測している。ハイドレート飽和率、初期間隙圧力の条件を変化させて分解試験を行った結果、供試体の温度が炭酸ガスハイドレートの平衡曲線に達した時点で急激な間隙圧力の上昇を計測しており、局所的に非排水条件となった場合、液状化状態に近くなる可能性があることを明らかにしている。地盤の変形については分解時には過剰間隙圧力の発生に伴い体積膨張を示した。また、炭酸ガスの液化による間隙圧力の減少がみられたが、メタンガスの場合気体のまま残留すると考えられ、これを上回る間隙圧力の上昇が発生する可能性があるとしている。</p> <p>第4章では、第2章で導いた弾粘塑性構成式と空気-水-土の三相系混合体の理論に基づく化学-熱-力学連成有限要素法を用いて第3章の分解試験の再現解析を行い、解析手法の有効性を検証するとともに、分解時の供試体内部のハイドレート飽和率の変化、骨格応力、ひずみ、温度分布等について明らかにしている。また、分解時には間隙空気圧および間隙水圧の上昇に伴い平均骨格応力が減少し土骨格の体積膨張を生じており、第3章の分解試験でみられた挙動が定性的に再現できることを示した。</p> <p>第5章では、線形安定解析法により化学-熱-力学連成挙動の支配方程式の安定性を調べている。これにより、ガスハイドレート分解時の力学挙動の安定性において、透水・透気係数、土骨格のひずみ硬化-軟化パラメータ、分解速度係数が支配的となることが示された。さらに透水係数と減圧量を変化させて1次元モデルを用いた有限要素解析を行うことにより、不安定領域について検討している。線形安定解析および有限要素解析で得られた結果は、実験結果と整合している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、非在来型天然ガスとして有望視され現在国内外において資源開発が進められているメタンハイドレートについて、開発時の地盤の力学的安定性を評価するため力学試験および解析的検討を行った結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 温度制御型高圧三軸試験装置を開発し、炭酸ガスハイドレート含有砂供試体を作製して、ハイドレート飽和率や間隙圧力を変えた種々の条件で非排気 - 非排水条件で加熱分解試験を実施した。その結果、ハイドレート分解時には急激に間隙圧力が上昇し、地盤中の有効拘束圧が著しく低下することにより、液状化に近い状態となることを明らかにした。
2. 分解時の地盤変形については、加熱法による非排気 - 非排水条件下での分解時には、有効拘束圧の急激な減少により体積膨張傾向を示した。これらにより、地盤内部で局所的に透水性の低い条件でハイドレートが分解した場合、急激な有効応力の減少と体積膨張が生じる可能性があることを明らかにした。
3. 化学 - 熱 - 力学連成解析法を用いて非排気 - 非排水分解試験の再現解析を実施した結果、間隙空気圧および間隙水圧の上昇に伴う平均骨格応力の減少および、体積膨張を示しており、加熱分解試験でみられた挙動を定性的に再現できることを明らかにした。また、供試体内部のハイドレート飽和率の変化、骨格応力、ひずみ、温度分布等について明らかにした。
4. 線形安定解析では、ハイドレート分解時の化学 - 熱 - 力学連成挙動の支配方程式の安定性について、サクションおよびハイドレート飽和率依存性を考慮し単純化した粘塑性構成式を用いて検討した。微小なゆらぎの発達する条件により系の不安定性について評価した結果、透水 - 透気係数、ひずみ硬化 - 軟化パラメータ、分解速度係数が支配的となることを明らかにした。特に、体積膨張の場合、ひずみ硬化材料であっても系が不安定となる可能性があることを明らかにした。
5. 1次元モデルを用いた化学 - 熱 - 力学連成有限要素解析を行い、不安定性について線形安定解析による結果と比較し検討した。透水係数と減圧量を変化させてパラメトリックスタディを行い、数値解析における不安定領域を調べた結果、基本的に透水係数が大きいほど系は安定であり、透水性が低い条件で不安定現象が生じるとする実験結果と整合する結果を得た。

以上より、本論文は、ガスハイドレート分解時の地盤の安定性評価に関し、地盤工学の進展に多大に貢献する研究であり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 1 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。